

М. В. ПАСЫНКОВА

ЗОЛА УГЛЕЙ КАК СУБСТРАТ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

В эпоху бурного промышленного прогресса, когда деятельность человека достигла масштабов геологических процессов, создающих новую географию земного шара и коренным образом меняющих условия жизни на земле (Колесников, Гвоздев, Шарц и др., 1961), будущее принадлежит искусственным культурным фитоценозам. Последние, естественно, во многих случаях будут создаваться на переработанных техногенных субстратах (отвалы вскрышных пород открытых разработок горнодобывающей промышленности, обогатительных фабрик, тепловых электростанций и т. п.), которые явятся как бы материнской породой, своеобразным «каркасом» природного сооружения — почвы. Такие субстраты, при создании на них искусственных фитоценозов, должны рассматриваться как объекты почвоведения и могут служить моделью начальных и дальнейших стадий почвообразовательного процесса. С этой точки зрения необходимо изучение физико-химических свойств таких промышленных субстратов. К таким субстратам относятся твердые негорючие остатки, образовавшиеся после сжигания тепловыми станциями твердого топлива (уголь, сланцы, торф) и выведенные в специальные емкости — золоотвалы. В литературе эти остатки называются каменноугольной золой (Сигалов, 1954; Тарчевский, 1964), зольным (Пантелеев, 1970) или золошлаковым материалом (Стольников, Кинд и др., 1970; Марфин, 1970), зольными аккумуляциями (Панин, Ковалев, 1970).

Эксплуатация тепловых электростанций, работающих на твердом топливе, выдвигает сложную проблему удаления больших масс золошлакового материала и организации мест складирования последнего. Каждая тепловая электростанция должна располагать территорией золоотвалов на срок не менее 12—15 лет ее эксплуатации. При проектировании электростанций в районах перспективной застройки рекомендуется резервировать площади для золоотвалов на срок полной амортизации оборудования станции — до 50 лет (Указания по проектированию, 1965). Исходя из этого, площади золоотвалов могут занимать десятки и сотни гектаров. Так, например, золоотвалы Южно-Кузбасской ГРЭС (ЮК ГРЭС) занимают площадь 80 га, Нижнетуринской ГРЭС (НТ ГРЭС) — 260, Томь-Усинской ГРЭС (ТУ ГРЭС) — 440, Южно-Уральской ГРЭС

(ЮУ ГРЭС) — 460 га и т. д. Территории, отведенные под золоотвалы, исключаются из хозяйственного пользования.

По классификации В. В. Тарчевского (1966), золоотвалы по происхождению относятся к группе мусорных отвалов, по высоте — низкие (не выше 5 м) или средние (до 25 м), по механическому составу — мелкопылеватые или крупнопылеватые с размером частиц до 10 мк и 50 мк — 1 мм соответственно. По сложению золоотвалы могут быть как рыхлые, так и плотно-плитчатые. В. В. Тарчевский (1964) высказал предположение, что плотно-плитчатое сложение золоотвалов можно объяснить высоким содержанием СаО в золе, которая вызывает как бы цементацию зольных частиц.

Изученные золоотвалы сложены золой углей, на которых работают тепловые электростанции. Непосредственно перед использованием твердое топливо размалывается на мельницах и сжигается в пылевидном состоянии в топках котлов. Мелкая часть золошлакового материала — зола, включающая фракции менее 0,25 мм, по мере сгорания топлива улавливается в специальных золоуловителях (фильтрах, циклонах, скруберах). Кроме золы в золошлаковый материал входит и шлак — фракции более 0,25 мм, который скапливается в специальных шлакосборниках. Пульпа (смесь золы и шлака с водой) от золоуловителей и шлакосборников смешивается в пределах зольного отделения станции и транспортируется в естественные или искусственные котлованы — золоотвалы (Тарчевский, 1964; Указания по проектированию, 1965).

Осаждение золошлакового материала из потока пульпы сопровождается естественным фракционированием материала. Наиболее крупные частицы и некоторая часть мелких откладываются вблизи выпуска пульпы, более мелкие выносятся дальше. Как отмечает В. Г. Пантелеев (1970), средний размер зольных отложений изменяется существенно только вблизи места выпуска пульпы, а на остальной части золоотвала изменение размеров невелико. После прекращения эксплуатации данной емкости золоотвалы забрасываются и превращаются в постоянный очаг загрязнения атмосферы, воды, почвы.

Золоотвалы тепловых электростанций — своеобразные образования современного урбанизированного ландшафта, созданные человеком и не имеющие аналогов в природе. Из природных образований к ним ближе всего поля свежих вулканических песков и вулканических пеплов действующих вулканов, особенно если они перемыты и переотложены водой (Колесников, Пикалова, 1970). «Свежая» зола с золоотвалов является практически стерильным субстратом (Штина, Тарчевский, 1967; Неганова, 1969, 1971; Панин, Ковалев, 1970; Штина, Неганова, Третьякова, 1971; Thomson, 1958). В настоящее время поднимаются вопросы использования промышленных отходов, в частности золы углей, в строительных целях, но утилизация их в общем масштабе страны очень ограничена.

Одним из наиболее эффективных способов нейтрализации вредного влияния золоотвалов на окружающую среду является фитомелиорация их, то есть создание устойчивых и достаточно продуктивных растительных сообществ на площади очагов загрязнения. Работы по фитомелиорации золоотвалов как в Советском Союзе, так и за рубежом начались в 50-х годах этого столетия (Сигалов, 1954, 1957, 1957а, 1970; Тарчевский и др., 1962, 1962а, 1963; Holliday, Townsend, Hodson, 1955; Rees, Sidrak, 1956; Thomson, 1958). К настоящему времени накоплен большой материал по способам фитомелиорации золоотвалов, росту и развитию культурных растений, но по характеристике золы углей как субстрата для растений встречаются отрывочные и немногочисленные публикации, включая и зарубежные. Несколько более полно освещены физико-химические свойства золы бурых и каменных углей, на которых работают электростанции Урала и Сибири, в работах В. В. Тарчевского (1967) и П. С. Панина, Р. В. Ковалева (1970). Имеющиеся в настоящее время дополнительные материалы лаборатории промышленной ботаники по физико-химическим свойствам золы бурых и каменных углей позволяют обобщить эти данные. В работе используются данные как неопубликованные, взятые из отчетов лаборатории по золоотвалам за 1964—1970 гг. (Беспрозована, 1964—1966; Хамидулина, 1964—1966; Чибрик, 1970), так и из работ, ранее опубликованных (Сигалов, 1958; Беспрозована, 1964; Тарчевский, 1964; Хамидулина, 1964, 1970; Фирсова, Кулай, 1966; Пицалова, 1967; Rees, Sidrak, 1955; Holliday, Townsend, Hodson, 1955 и др.).

Механический состав. Основой всех специфических особенностей золы углей как среды для развития растений является ее твердая фаза, которая изменяется под влиянием внешних условий (выветривание, температурные колебания, вымывание). Твердая фаза представлена ничем не связанными частицами золы с включением шлака и характеризуется процентным соотношением частиц разных размеров.

Мощность зольных отложений колеблется в зависимости от глубины котлована от 2,8—5 (Хамидулина, 1970; Панин, Ковалев, 1970) до 10—15 м (Тарчевский, 1964). Емкость котлована зависит от мощности станции, сроков эксплуатации ее, размеров территории, отведенной под золоотвалы. Зольные отложения обычно представлены субстратами светло- или темно-серого цвета, иногда с черными прослойками несгоревших угольных частиц. Как уже отмечено выше (Пантелеев, 1970; Панин, Ковалев, 1970), средний размер частиц золы изменяется существенно только вблизи выпуска пульпы, где отлагаются грубые куски шлака, достигающие в диаметре 1 и более сантиметров. Так, например, в золе с золоотвала Томь-Усинской ГРЭС присутствие таких частиц оказалось равным 2,7% на сухую навеску, в золе подмосковных углей с золоотвала Новомосковской ТЭЦ их количество составляло 0,3—1,0% (Сигалов, 1958). В удалении от места выброса пульпы в остальной

части золоотвалов преобладают мелкозернистые отложения золы с умеренным варьированием размеров частиц.

По материалам наших исследований и литературным данным по золоотвалу Новосибирской ТЭЦ (Панин, Ковалев, 1970), зола углей полидисперсна (табл. 1). Мелкозернистая часть золы как бурых, так и каменных углей представлена преимущественно фракциями песка и пыли, процентное соотношение которых зависит, по-видимому, от зольности и степени размалывания углей. Тонкодисперсная масса (ил), играющая важную роль в режиме почвообразования и содержащая в доступной форме все вещества, необходимые для питания растений (Гедройц, 1955), в золе углей составляет незначительную часть и колеблется от 1,1 до 7,4% к весу золы, что в 3—7 раз меньше таковой в черноземе. По соотношению фракций «физического песка» и «физической глины» (Качинский, 1958) механический состав золы углей колеблется от песков до среднего суглинка, всегда крупнопылеватого.

Таким образом, механический состав золы углей в основном представлен фракциями песка и пыли, которые не содержат в доступной форме элементов питания растений, что и позволяет отнести золу по солевому режиму к бедным субстратам.

Химический состав. По валовому химическому составу (табл. 2) зола углей в общих чертах соответствует алюмосиликатным образованиям. Содержание SiO_2 в золе различных углей изменяется от 40,5 до 50,3%, что равно содержанию ее в обыкновенном черноземе; Al_2O_3 — от 12,9 до 32,4 и Fe_2O_3 — от 5,5 до 17,7%, что в 1,4—2,1 раза превышает содержание этих элементов в черноземе. Величина потери от прокаливании колеблется от 0,3 до 10,9% в зависимости от количества в золе несожженной угольной пыли и карбонатов.

Анализ на содержание подвижных элементов питания растений показал, что в золе углей практически отсутствует азот. В золе углей нет и органического вещества, на что указывает также ряд авторов (Сигалов, 1958, 1970; Пикалова, 1968; Хамидулина, 1964, 1970; Колесников, Пикалова и др., 1970 и др.) Частицы несгоревшей угольной пыли (потенциальный гумус) имеющиеся в золе, тесно связаны с силикатами золы и, подвергаясь медленным физико-химическим и биохимическим превращениям, играют малую роль в формировании плодородия золы (Таранов, Трофимов, 1969; Панин, Ковалев, 1970).

Содержание подвижного фосфора (P_2O_5) в золе как бурых, так и каменных углей колеблется от слабого до хорошего, а в отдельных случаях до высокого обеспечения растений. Подвижного калия (K_2O) содержится от 1,6 до 25,0 мг/100 г золы, что по существующим грациям обеспечения калием следует считать недостаточным для развития растений.

Суммарное содержание обменных катионов кальция и магния колеблется от 5,5 до 42 мг-экв/100 г субстрата, причем зола бурых углей содержит обменных катионов больше, чем зола каменных.

Т а б л и ц а 1
Механический состав золы бурых и каменных углей различных месторождений
(расчет в % на воздушно-сухую навеску)*

Виды углей	Гигроскопическая влага	Потери при обработке НС1	Количество частиц						Сумма фракций		Наименование субстрата по механическому составу	
			песок (диаметр, мм)	пыль (диаметр, мм)			ил	физический песок (<0,01)	физическая глина (>0,01)			
				средний	мелкий	крупная				средняя		мелкая
Бурые угли			1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—	0,005—	>0,001				
Богословский (золоотвал НТ ГРЭС)	2,04	30,43	6,15	26,84	23,59	1,78	4,67	6,54	56,58	12,99	супесь	
Челябинский (золоотвал ЮК ГРЭС)	0,60	14,53	27,70	41,26	6,74	3,60	2,30	3,68	75,84	9,58	песок	
Кизеловский (золоотвал Березниковской ТЭЦ)	0,40	0,70	4,67	63,20	25,26	0,66	2,42	3,09	93,13	6,17	песок	
Смесь богословского и волчанского (золоотвал Серовской ГРЭС)	—	13,65	16,23	50,98	6,83	3,87	3,70	4,74	74,04	12,31	супесь	
Смесь челябинского и экибастузского (золоотвал Красноярской ТЭЦ)	—	19,47	0,53	4,23	56,08	5,45	9,33	4,91	60,84	19,69	супесь	
Каменные угли												
Кузнецкий (золоотвал ЮК ГРЭС)	0,40	30,63	7,24	1,91	36,39	12,71	5,56	5,56	45,54	23,83	легкий суглинок	
Кузнецкий (золоотвал Новосибирской ТЭЦ)	2,28	1,45	1,40	9,95	57,15	13,15	9,50	7,40	68,50	30,05	средний суглинок	
Обыкновенный чернозем**	4,34	16,10	6,70	21,00	17,00	16,40	15,20	23,70	44,70	55,30	тяжелый суглинок	

* Отбор образцов производился с глубины 0—20 см

** Данные по чернозему взяты из кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР. М., АН СССР, 1968.

Химический состав золы бурых и каменных углей различных месторождений

Виды углей	Потеря при про- каливании, %	Валовое содержание основных элементов (% на прокаленную навеску)										Содержание подвиж- ных элементов			Сумма об- менных катионов Са+Mg+ мг. экв./ 100 г	рН по KCl	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	азот, %	P ₂ O ₆	K ₂ O			мг/100г золы
Бурые угли																	
Богословский (золоотвал НТ ГРЭС)	9,4	40,5	32,4	5,5	7,8	отс.	—	—	0,4	—	—	0—0,0013	25,0—32,5	8,0—10,1	27,8—39,8	7,6—8,1	
Челябинский (золоотвал ЮУ ГРЭС)	—	58,3	31,4	7,2	2,0	0,3	—	—	0,7	—	—	0,08	2,7	1,6	42,0	7,8—8,0	
Смесь богословского и челябинского (золоотвал Верхнетагильской ГРЭС)	—	48,4	23,4	14,2	4,9	2,9	—	—	3,8	—	—	следы	23,5	7,0	—	8,5	
Кизеловский золоотвал (Березниковской ТЭЦ)	—	53,0	25,3	17,7	1,6	ды	—	1,0	3,0	—	—	следы	1,25	11,4	6,3	5,9	
Смесь богословского и волчанского (золоотвал Серовской ТЭЦ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,04	8,2	6,6	19,6	8,0	
Смесь челябинского и экибастузского (золоотвал Красногорской ТЭЦ)	6,2	60,3	28,9	4,5	1,1	отс.	—	—	0,8	—	—	нет	25,0	25,0	5,5	7,8	
Каменные угли																	
Кузнецкий (золоотвал ЮК ГРЭС)	0,3	58,8	21,7	11,6	1,9	0,3	—	0,6	0,4	3,3	0,8	0,04	21,0	7,0	8,2	7,8	
Кузнецкий (золоотвал ТУ ГРЭС)	10,9	52,9	12,9	6,8	9,0	1,9	—	2,4	отс.	2,0	0,8	0,05	8,0	13,0	0,32	7,5	
Кузнецкий (золоотвал Новосибирской ТЭЦ)	10,8	58,0	25,3	5,9	2,6	1,3	0,04	0,4	0,8	1,7	0,8	—	26,0—80,0	5,0—10,0	10,0—20,0	—	
Обыкновенный черномз *	13,7	61,2	12,6	5,6	2,2	1,5	—	0,2	0,4	1,8	0,9	0,2—0,5	—	10,0	30,0—70,0	6,5—6,8	

* Данные по черному взяты из кн: К. Д. Глинка. Почвоведение. М. — Л., Сельхозгиз, 1931.

В целом, зола углей обладает небольшой емкостью поглощения, аналогичной легким почвам, что объясняется ее обедненностью высокодисперсным органическим веществом и илстыми частицами. Поглощительная способность верхних слоев толщи золоотвалов может быть увеличена посредством нанесения на поверхность золы торфа, почвы, почво-грунта, внесения минеральных удобрений, полива сточными водами что и было подтверждено В. П. Фирсовой, Г. А. Кулай (1966) и П. С. Паниным, Р. В. Ковалевым (1970).

Реакция среды (рН) золы углей колеблется от 5,9 до 8,5, т. е. от слабокислой до щелочной. Зола углей — субстрат незасоленный. Сумма солей (плотный остаток) в верхних слоях (0—20 см) колеблется от 0,036 до 0,271% (табл. 3). Как указывают П. С. Панин, Р. В. Ковалев (1970), для золоотвала Новосибирской ТЭЦ плотный остаток по вертикальному профилю колеблется незначительно — от 0,034 до 0,122%.

Спектральный анализ показал присутствие в золе углей до 30 различных макро- и микроэлементов, многие из которых жизненно необходимы для растений (Са, Ва, Мп, Fe). С этой точки зрения, золу углей можно использовать в качестве микроудобрений (Коверков, Давыдова, 1959; Мамаева, Луганский и др., 1966; Решетникова, Юдин, 1967). Кроме того, в золе углей содержатся редкие элементы (Ga, Sc, Ti, Sr, Zr), что указывает на возможность использования ее в отдельных случаях в качестве вторичного сырья для извлечения этих элементов (Тарчевский, 1964; Комар, 1969).

Некоторые авторы (Rees, Sidrak, 1955; Holliday, Townsend, Hodson, 1955), отмечая содержание в золе углей в больших количествах Al, Мп, Fe, Ni, считают, что это влияет на рост растений, вызывает у них изменение окраски листьев (пурпурные пятна) и повышенную ломкость стеблей, увеличение содержания названных элементов в тканях растений. Анализ растений с золоотвала Нижнетуринской ГРЭС на содержание Fe и Al показал, что повышение концентрации этих элементов в большей степени характерно для корневых систем, а не для надземных частей растений, причем накопление не сопровождалось морфологическим изменением растений (Тарчевский, Дробиз, 1969).

Тепловой режим. Зола углей имеет довольно высокое альbedo. Как показали неопубликованные данные сотрудников кафедры С. В. Комова и Г. П. Серой по изучению отражательной способности золы экибастузского угля на золоотвале Средне-Уральской ГРЭС (СУГРЭС), зола имеет повышенное альbedo, которое меняется в течение дня. Так, например, измерения, проведенные 24 июня 1971 г., показали следующее изменение альbedo (табл. 4).

Альbedo порядка 18—30% характерно для сухих сероземов и серых песков, что почти в 1,8—2,1 раза больше альbedo сухого (14%) и влажного (8%) чернозема (Вершинина, Мельникова, Мичурин и др., 1959). По-видимому, повышенное альbedo золы

Анализ водной вытяжки золы бурых и каменных углей различных месторождений

Виды углей	Плотный ос- тапок, %	Содержание (%) от абсолютно сухой навески				
		CO ₂ "	HCO ₃ '	Cl'	SO ₄ "	Ca... Mg...
Бурые угли						
Богословский (золоотвал НТ ГРЭС)	0,075	нет	0,029	0,005	следы	0,009 0,003
Челябинский (золоотвал ЮУ ГРЭС)	0,271	нет	0,022	0,003	0,101	0,047 0,008
Смесь богословского и челябинского (золоотвал Верхнетагильской ГРЭС)	0,200	нет	0,023	0,004	0,118	0,034 нет
Кизеловский (золоотвал Березниковской ТЭЦ)	0,036	нет	0,007	0,004	следы	0,006 нет
Смесь богословского и волчанского (золоотвал Серовской ГРЭС)	0,058	нет	0,017	0,004	следы	0,007 0,002
Смесь челябинского и экзобастузского (золоотвал Красноярской ТЭЦ)	0,121	нет	0,014	0,011	0,072	0,003 0,001
Каменные угли						
Кузнецкий (золоотвал ЮК ГРЭС)	0,176	нет	0,019	0,014	0,099	0,021 0,007
Кузнецкий (золоотвал ТУ ГРЭС)	0,058	нет	0,017	0,014	0,017	0,004 0,002
Кузнецкий (золоотвал Новосибирской ТЭЦ)	0,083	0,001	0,002	0,003	0,005	0,011 0,006

Таблица 4

**Отражательная способность золы
экибастузского угля**

Часы наблюдений	Температура воздуха, °С	Альбедо, %
8	28	17,5
10	29	20,0
13	32	25,0
16	36	21,8

также можно объяснить сухостью и светлой окраской поверхностного слоя золы.

Основным показателем теплового режима является температура субстрата. Несмотря на светлые тона окраски золы (от светло-серого до серого), поверхность золоотвалов может нагреваться до 45—50° при температуре воздуха 30—35°. По данным, имеющимся в литературе (Тарчевский, 1964; Бесprozвана, 1964; Хамидулина, 1964, 1966, 1970; Пикалова, 1967), золу углей можно отнести к слаботеплопроводным субстратам со значительной амплитудой колебаний температуры на поверхности и глубине и ясно выраженным отрицательным градиентом температур. Разность эта уже на глубине 5 см от поверхности может достигать иногда 10—16°. На большей глубине тепловая волна затухает и изменение температуры идет плавно. Плохая теплопередача в глубинные толщи золы связана с сухостью и рыхлым состоянием верхнего слоя и более высокой влажностью нижних слоев.

Наши наблюдения за изменением суточного хода температур на золоотвале Южно-Кузбасской ГРЭС показали, что вертикальные градиенты температуры золы меняют направление дважды в течение суток, т. е. днем сильно нагревается поверхность золы, а ночью она остывает быстрее глубинных слоев (табл. 5). Тепло-

Таблица 5

Изменение суточного хода температуры золы

Глубина, см	Температура, °С			
	7 час.	13 час.	19 час.	1 час.
на поверхности	20,0	35,0	30,5	17,0
5	18,0	29,0	30,0	19,0
10	17,0	26,0	28,0	20,0
15	17,0	24,0	27,0	20,0
20	16,0	21,0	24,5	20,5
25	15,0	21,0	23,5	21,0

обмен направлен от поверхности вглубь (летом, днем) или, наоборот, из глубины к поверхности (зимой, ночью).

Тепловой поток в глубь толщи золы, суточная и годовая теплоаккумуляция определяются, помимо показаний температурного режима, еще и комплексом величин, характеризующих термические свойства золы.

К тепловым характеристикам следует отнести коэффициенты теплопроводности (λ) и температуропроводности (κ), объемную теплоемкость (c_p). Как показали наши наблюдения (табл. 6), все

Таблица 6

Тепловые характеристики золы бурого и каменного углей

Тепловые характеристики	Зола углей		Тип почвы *	
	Богословского (золоотвал НТ ГРЭС)	Кузнецкого (золоотвал ЮК ГРЭС)	Супесь	Суглинок
Коэффициент температуропроводности (κ), $10^{-3} \text{ см}^2/\text{сек}$	3,40—3,60	1,70—4,40	3,30	1,60
Коэффициент теплопроводности (λ), $10^{-3} \text{ кал}\cdot\text{см}/\text{сек}\cdot\text{град}$	0,20—0,43	0,21—0,55	1,24	0,86
Объемная теплоемкость (c_p), $\text{кал}/\text{см}^3\cdot\text{град}$	0,37—0,42	0,25—0,50	0,37	0,55

* Данные по почвам взяты из кн.: Физические условия почвы и растение. М., ИЛ, 1955.

эти величины находятся в прямой зависимости от влажности субстрата, а в связи с этим и от объемного веса его.

Золу углей можно отнести к субстратам, плохо проводящим тепло, так как коэффициент теплопроводности ее в среднем меньше 0,5 (Чудновский, 1962).

Таким образом, для зольных аккумуляций, слагающих золоотвалы, характерно сильное нагревание поверхности, повышенное альbedo, слабое проведение тепла в глубь толщи, стабильность температур в нижних слоях, отрицательный градиент температур.

Водно-физические свойства золы углей довольно своеобразны (табл. 7). Удельный вес твердой фазы золы равен $2,1\text{—}2,9 \text{ г}/\text{см}^3$, а в черноземах — $2,6\text{—}2,7 \text{ г}/\text{см}^3$. Объемный же вес из-за рыхлого сложения аккумуляций низкий и колеблется от 0,7 до $1,0 \text{ г}/\text{см}^3$, что близко к объемному весу гумусового горизонта черноземов (0,8—1,2), но ниже объемного веса минеральных горизонтов его — $1,6 \text{ г}/\text{см}^3$ (Панин, Ковалев, 1970).

Зольные аккумуляции обладают хорошей скважностью (50,0—71,8%), а вместе с тем и воздухообеспеченностью (37,3—50,1%). Как указывают П. С. Панин и Р. В. Ковалев (1970), порозность или скважность золы на 55—65% капиллярная (бес-

Таблица 7

Водно-физические показатели золы бурых и каменных углей

Виды углей	Глубина взятия образца, см	Влажность, %	Объемный вес, г/см ³	Удельный вес, г/см ³	Скажность, %	Воздухообеспеченность, %	Полная влагоемкость, %	Капиллярная влагоемкость, %	Гигроскопическая влага, %	Максимальная гигроскопичность, %	Влажность зольной дани, %
Бурые угли											
Богословский (золоотвал НТ ГРЭС)	0—6	25,0	0,91	2,30	60,0	37,3	67,8	56,0	0,8	5,0	7,5
Кизеловский (золоотвал Березниковской ТЭЦ)	—	—	1,00	2,90	66,0	—	66,0	41,2	—	—	—
Смесь челябинского и экибастузского (золоотвал Красногорской ТЭЦ)	0—4	22,5	0,70	2,20	66,6	50,2	6,0	76,0	—	—	—
Каменные угли											
Кузнецкий (золоотвал ЮК ГРЭС)	0—6	6,0	1,00	2,10	50,0	44,0	54,9	54,6	0,4	3,0	4,5
Кузнецкий (золоотвал Новошаршарской ТЭЦ)	0—5	—	0,70	2,40	71,8	42,5	54,5	—	—	7,0	10,5

* — прочерк обозначает отсутствие данных

структурный субстрат), что определяет повышенную водоудерживающую способность золы.

Водный режим золоотвалов во многом зависит от зонально-географического положения их. Так, например, во влажной таежной зоне, где осадков выпадает 500—600 мм в год (районы расположения золоотвалов Березниковской ТЭЦ, Нижнетуринской, Серовской и Южно-Кузбасской ГРЭС), полевая влажность в вегетационный период колебалась в годы наблюдений от 4,0 до 37,0% в слое 0—5 см и 20,0—45,0% в слое 20—40 см; в лесостепной же зоне, где осадков выпадает до 350 мм в год (районы расположения Южно-Уральской ГРЭС, Красногорской ТЭЦ), эти величины изменялись от 0,4—25,0% до 17,0—30,0% соответственно по слоям. Атмосферные осадки полностью поглощаются золой, пополняя внутренние запасы влаги в толще золоотвалов.

Полная влагоемкость золы углей колеблется от 54,5 до 76,0, капиллярная — от 41,2 до 76,0% к весу золы. Подсчет запасов воды в корнеобитаемом слое (0—20 см) на золоотвалах Южно-Кузбасской и Нижнетуринской ГРЭС показал, что при средней влажности золы от 17,4 до 23,6% к весу и от 17,4 до 21,5% к объему запас воды колеблется от 388,0 до 430,0 м³/га соответственно по золоотвалам. В метровом же слое золыных аккумуляций после полива может удержаться 3200—2700 м³/га воды (Панин, Ковалев, 1970). Однако наблюдения за полевой влажностью до глубины 20 см в течение 10 лет на золоотвалах Нижнетуринской, Южно-Кузбасской, Южно-Уральской ГРЭС и Березниковской ТЭЦ показали, что в верхних слоях отвалов (0—10 см) складывается особенно неустойчивый водный режим ввиду быстрого просачивания осадков в глубь отвала и высыхания поверхности его. С глубиной влажность увеличивается, причем на плотных золоотвалах эта закономерность проявляется постоянно, на рыхлых — нет (Тарчевский, 1964; Беспрозвана, 1964; Хамидулина, 1964, 1970).

Зольные отложения из-за незначительного содержания тонкодисперсных коллоидных фракций обладают низкой гигроскопичностью. Максимальная гигроскопичность колеблется от 3,0 до 7,0%, а влажность завядания — от 4,5 до 10,5% к весу золы.

Изучение водопроницаемости золы бурых и каменных углей с золоотвалов Нижнетуринской и Южно-Кузбасской ГРЭС в лабораторных условиях показало, что при поступлении воды на сухую поверхность интенсивность фильтрации высокая, так как происходит заполнение влагой порового пространства золы, первоначально не насыщенного водой. По мере заполнения пор водопроницаемость уменьшается. В среднем водопроницаемость золы, в зависимости от ее механического состава, колеблется от 93 до 120 мм/час, а объем впитанной воды в единицу времени — от 46,2 до 78,0 см³/час соответственно для субстратов, классифицируемых по физическим свойствам как суглинистые и супесчаные. Для золоотвала Новосибирской ТЭЦ скорость фильтрации воды в полевых

условиях через 30-сантиметровый слой золы после часа наблюдений составила 1 мм/мин (Панин, Ковалев, 1970). Сравнивая водопроницаемость золы со шкалой оценки водопроницаемости почв (Астапов, 1958), можно отметить, что зола углей обладает водопроницаемостью от значительной до средней.

Определение капиллярного поднятия воды для воздушно-сухой золы в лабораторных условиях показало, что при соприкосновении сухой поверхности золы с водой поднятие ее в первые три минуты идет быстро — от 1,1 (в суглинках) до 2,1 мм/мин (в супесях), а затем замедляется до 0,1 мм/мин.

Таким образом, зола углей по водному режиму вполне пригодна для долготелетнего выращивания растений. Несколько неблагоприятные условия возникают в период прорастания семян и в первый год жизни растений, так как корни растений в это время располагаются в слое 10 см, который подвергается быстрому и сильному иссушению.

Подводя итог, можно отметить, что зола углей является своеобразным субстратом для развития растений, причем принципиальных различий между золой бурых и каменных углей по водно-физическим и химическим данным не обнаруживается.

1. Твердая фаза золы углей представлена ничем не связанными частицами различных размеров, т. е. зола — субстрат полидисперсный.

2. Механический состав золы различных углей колеблется от песков до легких суглинков, но всегда крупнопылеватых.

3. По валовому химическому составу зольные аккумуляции в общих чертах соответствуют алюмосиликатным образованиям (SiO_2 — 40,5—60,3%, Al_2O_3 — 12,9—32,4%). Зола углей — субстрат не засоленный.

4. В золе углей нет органического вещества, практически отсутствует азот, а содержание подвижного фосфора (P_2O_5) колеблется от слабой (1,3 мг/100 г) до хорошей (25,0 мг/100 г), а иногда и высокой (32,5 мг/100 г) обеспеченности растений. Подвижного калия (K_2O) в зоне углей недостаточно для развития растений.

5. Зола углей обладает небольшой емкостью поглощения, аналогично легким почвам, что объясняется ее обедненностью высокодисперсным органическим веществом и илистыми частицами.

6. Реакция среды (pH) колеблется от слабокислой ($pH=5,9$) до щелочной ($pH=8,5$), но вполне пригодной для развития растений.

7. Зола углей содержит большой спектр макро- и микроэлементов, многие из которых необходимы для растений.

8. По температурному режиму зола углей относится к слабо-теплопроводным субстратам с резкой амплитудой колебаний температуры на поверхности и глубине.

Таким образом, водно-физические свойства и химический состав золы углей вполне пригодны для существования растений, но

для создания долголетних продуктивных культурфитоценозов нужны определенные агротехнические мероприятия (нанесение на поверхность золоотвала слоя почвы, торфа, почво-грунта, внесение минеральных удобрений, полив), направленные на улучшение свойств золы углей как субстрата для выращивания растений.

ЛИТЕРАТУРА

- Агрохимическая характеристика почв СССР, 1968. М., «Наука».
- Астапов С. В., 1958. Мелиоративное почвоведение. Практикум. М., Сельхозгиз.
- Беспрозвана С. Я., 1964. Выращивание многолетних травянистых растений на рыхлых золоотвалах. В сб. «Растения и промышленная среда». Свердловск, УрГУ.
- Вершинин П. В., Мельникова М. К., Мичурин Б. Н., Мошков Б. С., Поясов Н. П., Чудновский А. Ф., 1959. Основы агрофизики. М., Физматгиз.
- Гедройц К. К., 1955. Учение о поглотительной способности почв. Избр. соч., т. I. М., Сельхозгиз.
- Глинка К. Д., 1931. Почвоведение. М.—Л., Сельхозгиз.
- Качинский Н. А., 1958. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М., АН СССР.
- Коверков А. П., Давыдова Е. Н., 1959. Промышленные отходы, содержащие микроэлементы. «Удобрения и урожай», № 8.
- Комар И. В., 1969. Обмен веществ «природа — общество — природа» и некоторые вопросы его оптимизации. «Изв. АН СССР», сер. географич., № 5.
- Колесников Б. П., Гвоздев В. С., Шарц А. К., Тарчевский В. В., 1961. Задачи охраны природы и рационального использования природных ресурсов Среднего Урала. «Охрана природы на Урале», вып. 2. Пермь, УФАН СССР.
- Колесников Б. П., Пикалова Г. М., 1970. Некоторые результаты работы лаборатории промышленной ботаники Уральского университета по фитомелиорации промышленных отвалов. В сб. «Рекультивация в Сибири и на Урале». Новосибирск, «Наука».
- Колесников Б. П., Пикалова Г. М., Пасынкова М. В., Левит С. Я., 1970а. Консервация поверхности золошлакоотвалов путем посева многолетних злаково-бобовых трав. В сб. «Тезисы докладов на семинаре «Эксплуатация золошлакоотвалов тепловых электростанций». М., Информэнерго.
- Мамаева Е. Г., Луганский Н. А., Левченко В. Г., Шульпина Л. А., 1966. Местные источники удобрений в зеленом строительстве городов Свердловской области. В сб. «Растительность и промышленные загрязнения. Охрана природы на Урале», вып. 5. Свердловск, УФАН СССР.
- Марфин В. Ф., 1970. Опыт эксплуатации золошлакоотвалов мощных электростанций Эстонглавэнерго, работающих на сланцевом топливе. В сб. «Тезисы докладов на семинаре «Эксплуатация золошлакоотвалов тепловых электростанций». М., Информэнерго.
- Неганова Л. Б., 1969. О составе водорослей, развивающихся на промышленных отвалах. В сб. «Рефераты докладов и сообщений IV Уральского научно-координационного совещания по проблеме «Растительность и промышленные загрязнения». Свердловск, УрГУ — УФАН СССР.
- Неганова Л. Б., 1971. Развитие водорослей на промышленных отвалах. В сб. «Материалы I Украинской конференции «Растения и промышленная среда». Киев, «Наукова думка».
- Нерпин С. В., Чудновский А. Ф., 1967. Физика почв. М., «Наука».
- Панин П. С., Ковалев Р. В., 1970. Химические и водно-физические свойства золоотвалов Новосибирской ТЭЦ. В сб. «Рекультивация в Сибири и на Урале». Новосибирск, «Наука».

Пантелеев В. Г., 1970. Структурные и физические характеристики частиц золы на золошлакоотвалах. В сб. «Тезисы докладов на семинаре «Эксплуатация золошлакоотвалов тепловых электростанций». М., Информэнерго.

Пикалова Г. М., 1967. Некоторые особенности биологии костра безостого, регнерии волокнистой и люцерны синегрибной при выращивании на каменноугольной золе. Канд. дисс. Свердловск.

Пикалова Г. М., 1968. Некоторые особенности биологии костра безостого, регнерии волокнистой и люцерны синегрибной при выращивании на каменноугольной золе. Автореф. канд. дисс. Томск.

Решетникова Н. В., Юдин Ф. А., 1967. Эффективность применения мартеновских шлаков в сочетании с полным минеральным удобрением. «Докл. с.-х. акад. им. Тимирязева», вып. 127.

Ричардс С. Д., Хаган Р. М., Мак-Калла Т. М., 1955. Температура почвы и развитие растений. В кн. «Физиологические условия почвы и растение». М., ИЛ.

Сигалов Б. Я., 1954. О выращивании многолетних трав на каменноугольной золе. «Бюлл. Гл. бот. сада», вып. 9.

Сигалов Б. Я., 1957. Многолетние травы на золе каменного угля. «Природа», № 7.

Сигалов Б. Я., 1957а. О закреплении поверхности золоотвалов многолетними травами. «Бюлл. Гл. бот. сада», вып. 28.

Сигалов Б. Я., 1958. Закрепление золы каменноугольных отвалов многолетними травами. «Ботанич. ж.», 43, № 3.

Сигалов Б. Я., 1970. Консервация золошлакоотвалов тепловых электростанций посевом дернообразующих трав. В сб. «Тезисы докладов на семинаре «Эксплуатация золошлакоотвалов тепловых электростанций». М., Информэнерго.

Стольников В. В., Кинд В. В., Мокрушин А. Р., Логунов А. А., 1970. Использование золошлаковых материалов в народном хозяйстве. В сб. «Тезисы докладов на семинаре «Эксплуатация золошлакоотвалов тепловых электростанций». М., Информэнерго.

Таранов С. А., Трофимов С. С., 1969. Обогащение выветрелыми углями как прием, ускоряющий гумусоаккумуляцию в грунто-смесях с карбонатными лёссовидными суглинками при их рекультивации в Кузбассе. В сб. «Рефераты докладов и сообщений IV Уральского научно-координационного совещания по проблеме «Растительность и промышленные загрязнения». Свердловск, УрГУ — УФАН СССР.

Тарчевский В. В., 1964. Биологические методы консервации золоотвалов тепловых электростанций Урала. В сб.: «Растения и промышленная среда». Свердловск, УрГУ.

Тарчевский В. В., 1964а. Промышленные отвалы и их освоение. В сб. «Растительность и промышленные загрязнения. Охрана природы на Урале», вып. 4. Свердловск, УФАН СССР.

Тарчевский В. В., Шубин Ф. М., 1962. Опыты по закрытию растительностью золоотвалов электростанций. «Зап. Свердловского отд. ВБО», вып. 2.

Тарчевский В. В., Беспрозвана С. Я., Власова Г. М., Хамидулина М. В., Шубин Ф. М., 1962а. Опыт закрытия растительностью шлаконаливных полей (золоотвалов) тепловых электростанций Урала. Свердловское кн. изд-во.

Тарчевский В. В., Беспрозвана С. Я., Власова Г. М., Хамидулина М. В., Шилова И. И., Агафонова С. В., 1963. Окультуривание и рациональное использование промышленных отвалов. В сб. «Вторая межвузовская научно-отчетная конференция «Университеты — сельскому хозяйству». Тезисы докладов. ЛГУ.

Тарчевский В. В., Штина Э. А., 1967. Водоросли промышленных отвалов. В сб.: «Современное состояние и перспективы изучения почвенных водорослей в СССР». Кировский с.-х. ин-т.

Тарчевский В. В., Дробиз Ф. Д., 1969. Содержание железа и алюминия в растениях, выращенных на специфических субстратах. В сб. «Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Тезисы III Сибирской конференции. Омск, 1969». Улан-Удэ.

Указания по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций. 1965. М. — Л., «Энергия».

Фирсова В. П., Кулай Г. А., 1966. Физико-химические и микробиологические свойства золы отвалов тепловых электростанций Свердловской области. В сб. «Растительность и промышленные загрязнения. Охрана природы на Урале», вып. 5. Свердловск, УФАН СССР.

Хамидулина М. В., 1964. Особенности роста и развития многолетних растений на плотных золоотвалах. В сб. «Растения и промышленная среда». Свердловск, УрГУ.

Хамидулина М. В., 1966. Рост и развитие многолетних злаковых и бобовых растений на золе с поливом сточными водами. В сб. «Растительность и промышленные загрязнения. Охрана природы на Урале», вып. 5. Свердловск, УФАН СССР.

Хамидулина М. В., 1970. Консервация поверхности золоотвала Южно-Кузбасской ГРЭС. В сб. «Растительность и промышленные загрязнения. Охрана природы на Урале», вып. 7. Свердловск, УФАН СССР.

Чудновский А. Ф., 1962. Теплофизическая характеристика дисперсных материалов. М., Физматгиз.

Штина Э. А., Неганова Л. Б., Третьякова А. Н., 1971. Роль азотфиксирующих водорослей в зарастании промышленных отвалов. В сб. «Рекультивация в Сибири и на Урале». Новосибирск, «Наука».

Holliday R., Townsend W., Hodson D., 1955. Plant growth on "fly ash". "Nature", 176, N 4490.

Rees W. J., Sidrak C. H., 1956. Plant nutrition on fly — ash. "Plant and Soil.", 8, N 2.

Thomson H. W., 1958. Restoration of agricultural and other soils. "Nature", 181, N 4606.